

# 发酵饲料对刺参生长性能、消化及非特异性免疫能力的影响

## Effects of fermented feed on growth performance, digestion and non-specific immunity of sea cucumber *Apostichopus japonicus*

李倩<sup>1,2</sup>, 王际英<sup>2\*</sup>, 李宝山<sup>2\*</sup>, 刘经未<sup>1,2</sup>, 郝甜甜<sup>2</sup>, 孙永智<sup>2</sup>, 黄炳山<sup>2</sup>

<sup>1</sup>上海海洋大学, 水产科学国家级实验教学示范中心, 上海 201306;

<sup>2</sup>山东省海洋资源与环境研究院, 山东 烟台 264006

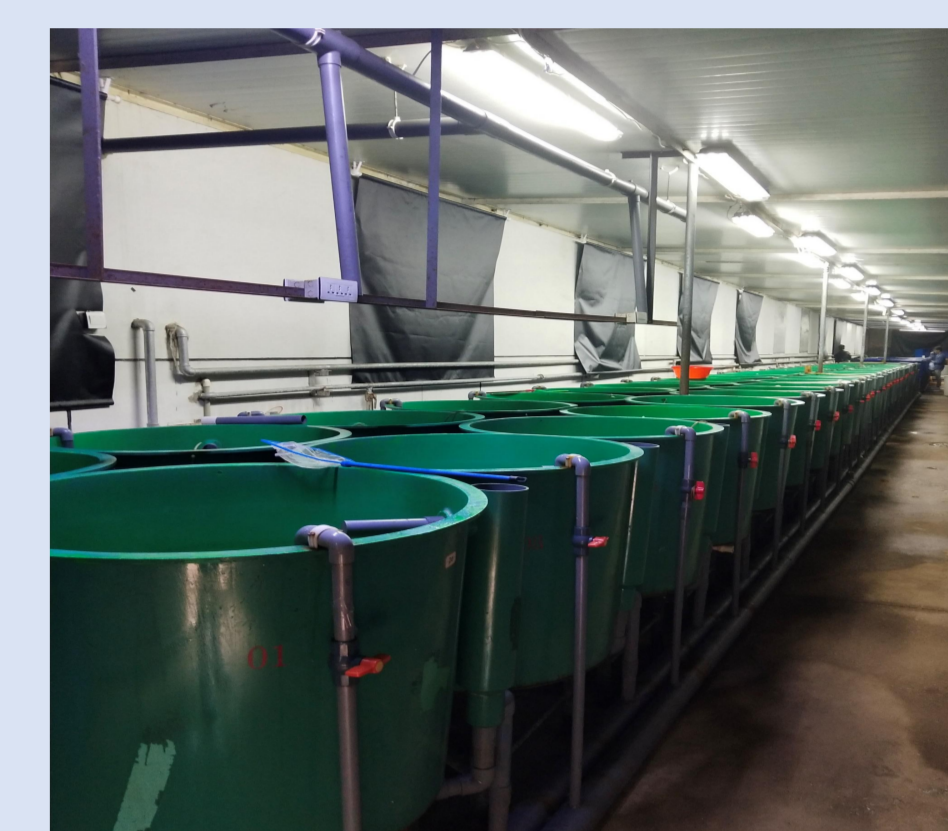
### 前言

微生物发酵饲料技术是指饲料经乳酸菌、酵母菌、芽孢杆菌等有益菌的发酵, 改善其适口性和风味以及提高其营养价值的技术。刺参配合饲料中含有大量的粗纤维和蛋白质, 经发酵后可以将大分子物质分解为小分子物质, 如氨基酸, 小分子肽和还原糖等, 使饲料更易被机体消化吸收。碳源在发酵过程中起着至关重要的作用, 它不仅为微生物的生长和繁殖提供能量和碳成分, 还影响代谢产物的合成和发酵速率的提高。不同有机碳源因其所具有的能量及代谢途径不同对发酵速率和发酵产物的影响也不同。本实验首先通过在刺参配合饲料发酵过程中添加5种不同的碳源, 以酸溶蛋白含量和还原糖含量作为评价指标筛选出最优发酵效果的碳源; 然后以不同比例的发酵饲料替代基础饲料, 研究发酵饲料对刺参生长性能、消化及非特异性免疫能力的影响, 为该发酵饲料的进一步推广提供数据支持。

### 材料和方法

**发酵饲料的制备:** 以白鱼粉、海带渣和豆粕为主要蛋白源, 以鱼油为脂肪源, 设计粗蛋白含量为18.05%, 粗脂肪含量为0.93%的刺参配合饲料作为发酵底物。以枯草芽孢杆菌为发酵菌种, 以葡萄糖、蔗糖、麦芽糖、可溶性淀粉和低聚果糖为发酵碳源。其中菌种接种量为3%、料液比为1: 0.3 g/mL、碳源添加量为2%, 在发酵袋中35°C发酵5d。发酵过程中每天观察室温、料层温度、感官等指标, 并对发酵饲料进行翻动, 每天采样检测饲料酸溶蛋白和还原糖含量。

**实验饲料的制备:** 在基础饲料中分别添加0、5%、10%、20%、30%和40%的发酵饲料配制成6组实验饲料, 分别命名为D1、D2、D3、D4、D5和D6组。



### 饲料配方

原料		营养组成	
白鱼粉	10.00	粗蛋白	18.05
豆粕	10.00	粗脂肪	0.93
海带渣	33.00	粗灰分	55.75
维生素预混料	1.00	酸溶蛋白	2.86
矿物质预混料	1.00	还原糖	0.22
抗氧化剂	0.10		
海泥	43.90		
鱼油	1.00		
合计	100		

### 养殖实验

项目	组别					
	D1	D2	D3	D4	D5	D6
初始体质量	27.03±0.06	27.09±0.05	27.11±0.06	27.03±0.12	27.09±0.02	27.12±0.07
终末体质量	40.83±0.65 <sup>a</sup>	43.65±0.28 <sup>b</sup>	45.21±0.69 <sup>c</sup>	48.36±0.70 <sup>c</sup>	46.76±0.14 <sup>d</sup>	45.61±0.38 <sup>c</sup>
增重率	50.76±2.45 <sup>a</sup>	61.12±1.31 <sup>b</sup>	66.80±2.37 <sup>c</sup>	78.93±2.19 <sup>c</sup>	72.58±0.67 <sup>d</sup>	68.19±1.78 <sup>c</sup>
特定生长率	0.68±0.03 <sup>a</sup>	0.79±0.01 <sup>b</sup>	0.85±0.02 <sup>c</sup>	0.97±0.02 <sup>c</sup>	0.91±0.01 <sup>d</sup>	0.87±0.02 <sup>c</sup>
肠壁比	6.78±0.15 <sup>a</sup>	7.29±0.72 <sup>ab</sup>	7.17±0.67 <sup>ab</sup>	6.99±0.69 <sup>ab</sup>	7.65±0.56 <sup>b</sup>	7.58±0.62 <sup>ab</sup>
存活率	100.00±0.00	98.67±2.31	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00

### 实验结果

#### 碳源筛选

枯草芽孢杆菌对发酵饲料营养成分的影响

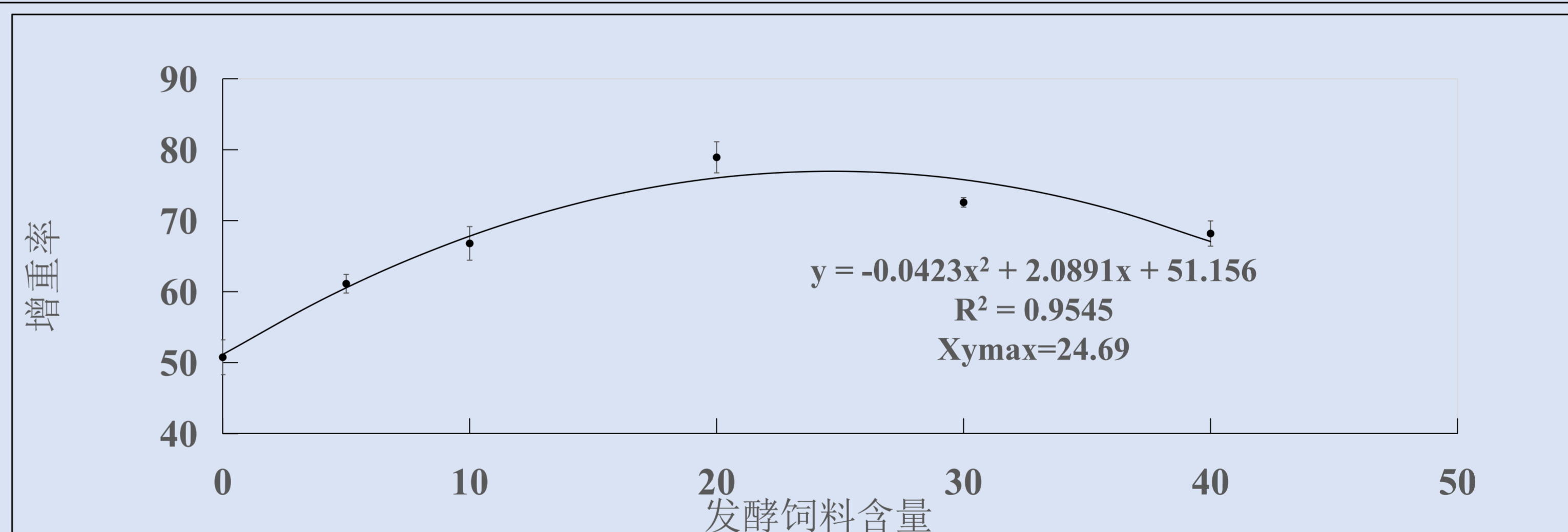
项目	发酵时间					
	未发酵	1d	2d	3d	4d	5d
酸溶蛋白	2.86±0.18 <sup>a</sup>	8.29±0.12 <sup>b</sup>	9.05±0.21 <sup>c</sup>	10.48±0.44 <sup>d</sup>	11.88±0.12 <sup>c</sup>	11.63±0.17 <sup>c</sup>
还原糖	0.22±0.05 <sup>a</sup>	0.36±0.12 <sup>a</sup>	1.23±0.17 <sup>b</sup>	1.75±0.18 <sup>c</sup>	2.13±0.11 <sup>d</sup>	1.82±0.09 <sup>c</sup>

不同碳源对发酵饲料酸溶蛋白含量的影响

项目	发酵时间					
	未发酵	1d	2d	3d	4d	5d
葡萄糖	2.81±0.04	9.52±0.17 <sup>a</sup>	11.17±0.24 <sup>b</sup>	10.6±0.26 <sup>ab</sup>	12.65±0.06 <sup>b</sup>	12.35±0.32 <sup>a</sup>
蔗糖	2.80±0.06	9.47±0.19 <sup>a</sup>	11.21±0.11 <sup>b</sup>	11.70±0.13 <sup>c</sup>	12.77±0.04 <sup>b</sup>	12.55±0.21 <sup>a</sup>
麦芽糖	2.78±0.11	9.31±0.05 <sup>a</sup>	11.09±0.26 <sup>b</sup>	10.50±0.25 <sup>a</sup>	12.63±0.14 <sup>b</sup>	13.32±0.31 <sup>b</sup>
可溶性淀粉	2.80±0.07	9.43±0.23 <sup>a</sup>	9.87±0.02 <sup>a</sup>	10.99±0.43 <sup>b</sup>	12.20±0.15 <sup>a</sup>	12.72±0.15 <sup>a</sup>
低聚果糖	2.74±0.06	10.10±0.25 <sup>b</sup>	11.41±0.35 <sup>b</sup>	13.46±0.04 <sup>d</sup>	13.09±0.16 <sup>c</sup>	13.18±0.12 <sup>b</sup>

不同碳源对发酵饲料还原糖含量的影响

项目	发酵时间					
	未发酵	1d	2d	3d	4d	5d
葡萄糖	2.17±0.11 <sup>c</sup>	1.70±0.07 <sup>c</sup>	2.61±0.16 <sup>d</sup>	2.24±0.16 <sup>b</sup>	2.32±0.15 <sup>a</sup>	1.94±0.12 <sup>a</sup>
蔗糖	0.29±0.05 <sup>a</sup>	0.43±0.02 <sup>b</sup>	1.87±0.09 <sup>bc</sup>	2.75±0.10 <sup>c</sup>	2.90±0.10 <sup>c</sup>	2.84±0.13 <sup>c</sup>
麦芽糖	0.83±0.10 <sup>b</sup>	0.39±0.02 <sup>b</sup>	1.67±0.20 <sup>b</sup>	2.22±0.03 <sup>b</sup>	2.68±0.13 <sup>b</sup>	2.52±0.08 <sup>b</sup>
可溶性淀粉	0.21±0.05 <sup>a</sup>	0.24±0.05 <sup>a</sup>	1.29±0.11 <sup>a</sup>	1.64±0.11 <sup>a</sup>	2.28±0.03 <sup>a</sup>	2.45±0.12 <sup>b</sup>
低聚果糖	0.34±0.04 <sup>a</sup>	0.46±0.05 <sup>b</sup>	1.95±0.10 <sup>c</sup>	3.15±0.15 <sup>d</sup>	3.09±0.05 <sup>d</sup>	2.99±0.18 <sup>c</sup>



项目	组别					
	D1	D2	D3	D4	D5	D6
总超氧化物歧化酶	46.87±2.70 <sup>a</sup>	54.20±0.94 <sup>bc</sup>	52.69±1.42 <sup>b</sup>	58.18±2.77 <sup>cd</sup>	57.50±3.01 <sup>cd</sup>	60.53±2.58 <sup>d</sup>
碱性磷酸酶	59.83±2.82 <sup>b</sup>	53.92±4.41 <sup>a</sup>	65.51±1.93 <sup>b</sup>	77.70±3.53 <sup>c</sup>	81.95±2.92 <sup>c</sup>	61.25±2.3 <sup>b</sup>
酸性磷酸酶	124.51±7.19 <sup>a</sup>	140.57±16.22 <sup>a</sup>	179.53±13.49 <sup>b</sup>	230.74±7.05 <sup>c</sup>	209.66±22.04 <sup>c</sup>	181.34±19.47 <sup>b</sup>
丙二醛	2.98±0.10 <sup>c</sup>	2.50±0.14 <sup>b</sup>	1.88±0.08 <sup>a</sup>	1.73±0.18 <sup>a</sup>	2.62±0.15 <sup>b</sup>	3.20±0.13 <sup>c</sup>

项目	组别					
	D1	D2	D3	D4	D5	D6
蛋白酶	1344.94±54.3 <sup>2a</sup>	1483.16±187.04 <sup>ab</sup>	1714.32±127.96 <sup>bc</sup>	1708.60±170.47 <sup>bc</sup>	1812.82±167.02 <sup>c</sup>	1529.58±120.30 <sup>ab</sup>
纤维素酶	1.53±0.16 <sup>a</sup>	2.15±0.07 <sup>b</sup>	1.90±0.03 <sup>b</sup>	2.74±0.22 <sup>c</sup>	2.88±0.14 <sup>c</sup>	2.99±0.13 <sup>c</sup>
淀粉酶	0.22±0.02 <sup>a</sup>	0.28±0.01 <sup>b</sup>	0.27±0.01 <sup>b</sup>	0.30±0.02 <sup>b</sup>	0.28±0.03 <sup>b</sup>	0.24±0.01 <sup>a</sup>

综上所述, 对碳源筛选实验来说, 枯草芽孢杆菌和碳源进行组合发酵刺参配合饲料均能够进一步提高ASP含量和还原糖含量且与低聚果糖共同发酵效果最优。对于养殖实验来说, 以增重率为评价指标, 经一元二次回归分析得出, 体质量为(27.03±0.12)g的刺参饲料中发酵饲料的最适替代比例为24.69%。饲料中添加20%~30%的发酵饲料可以提高刺参对营养物质的消化能力, 增强刺参的抗氧化性能, 进而促进刺参的生长。